

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-016548

(43)Date of publication of application : 18.01.2002

(51)Int.Cl. H04B 10/02  
H04B 10/18

(21)Application number : 2000-197134 (71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

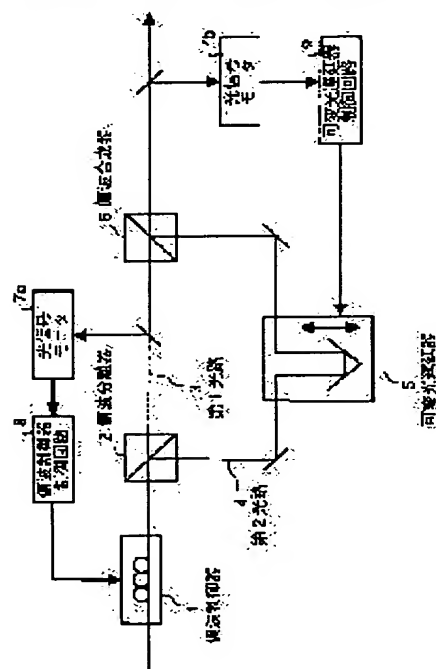
(22)Date of filing : 29.06.2000 (72)Inventor : SHIMIZU KATSUHIRO  
SUGIHARA TAKASHI

## (54) SYSTEM FOR COMPENSATING POLARIZED WAVE MODE DISPERSION

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a system for compensating a polarized wave mode that can surely and with high accuracy prevent deterioration in the signal quality due to polarized mode dispersion.

**SOLUTION:** The system is provided with a polarized wave controller 1 that applies polarized plane control to a received optical signal, a polarized wave separator 2 that splits the optical signal into two orthogonally polarized wave components, a variable optical delay device 5 that compensates a delay time difference between the two orthogonally polarized wave components, a polarized wave multiplexer 6 that applies polarized wave multiplexing to optical signals of a 1st optical path 3 and a 2nd optical path 4, an optical signal monitor 7a, that detects the optical signal with one orthogonally polarized wave component, an optical signal monitor 7b, that detects the optical signal resulting from the polarized wave synthesis, a polarized wave controller control circuit 8 that controls the polarized wave controller 1, on the basis of the optical signal detected by the optical signal monitor 7a, and a variable optical delay unit control circuit 9 that controls the variable optical delay device 5, on the basis of the optical signal detected by the optical signal monitor 7b.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision]

of rejection]

[Kind of final disposal of application  
other than the examiner's decision of  
rejection or application converted  
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-16548  
(P2002-16548A)

(43) 公開日 平成14年1月18日 (2002.1.18)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 4 B 10/02  
10/18

識別記号

F I

H 0 4 B 9/00

テームト\* (参考)

M 5 K 0 0 2

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2000-197134 (P2000-197134)

(22) 出願日 平成12年6月29日 (2000.6.29)

(71) 出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72) 発明者 清水 克宏

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(72) 発明者 杉原 隆嗣

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三  
菱電機株式会社内

(74) 代理人 100089118

弁理士 酒井 宏明

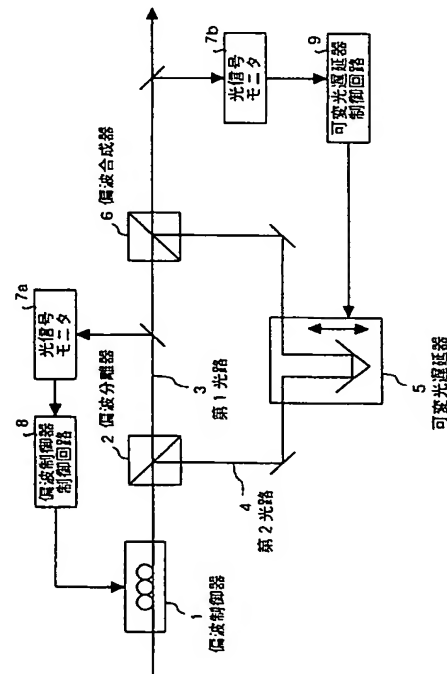
Fターム (参考) 5K002 BA02 CA01 DA05

(54) 【発明の名称】 偏波モード分散補償装置

(57) 【要約】

【課題】 偏波モード分散による信号品質の劣化を高精度かつ確実に行うこと。

【解決手段】 入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御器1と、光信号を2つの直交偏波成分に分離する偏波分離器2と、2つの直交偏波成分の遅延時間差を補償する可変光遅延器5と、第1光路3と第2光路4との光信号を偏波合成する偏波合成器6と、一方の直交偏波成分の光信号を検出する光信号モニタ7aと、偏波合成された光信号を検出する光信号モニタ7bと、光信号モニタ7aが検出した光信号をもとに偏波制御器1を制御する偏波制御器制御回路8と、光信号モニタ7bが検出した光信号をもとに可変光遅延器5を制御する可変光遅延器制御回路9とを備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、

前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を 2 つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、

前記偏波分離手段によって分離された 2 つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された 2 つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、

前記遅延補償手段に入力された 2 つの直交偏波成分のうちのいずれか一方の直交偏波成分の光信号を検出する第 1 の光信号検出手段と、

前記遅延補償手段から出力された光信号を検出する第 2 の光信号検出手段と、

前記第 1 の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第 1 の制御手段と、

前記第 2 の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第 2 の制御手段と、  
を備えたことを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 2】 入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、

前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を 2 つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、

前記偏波分離手段によって分離された 2 つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された 2 つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、

前記 2 つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分である第 1 の光信号と前記遅延補償手段から出力された前記 2 つの直交偏波成分からなる第 2 の光信号との各一部  
の光信号を取り出す光取出手段と、

前記光取出手段によって取り出された前記第 1 の光信号および前記第 2 の光信号を時分割に切り換えて出力する光スイッチと、

前記第 1 の光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第 1 の制御手段と、

前記第 2 の光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第 2 の制御手段と、

前記光スイッチから出力された前記第 1 の光信号および前記第 2 の光信号を検出し、検出結果をそれぞれ対応する前記第 1 の制御手段および前記第 2 の制御手段に出力する光信号検出手段と、

前記光スイッチおよび前記光信号検出手段を時分割切換制御する切換制御手段と、

を備えたことを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 3】 前記 2 つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分の光信号を減衰する光減衰手段と、  
前記遅延補償手段が出力した光信号を検出する第 3 の光信号検出手段と、

前記第 3 の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前

記光減衰手段の減衰量を制御する第 3 の制御手段と、  
をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 4】 入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、

前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を 2 つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、

前記偏波分離手段によって分離された 2 つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された 2 つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、

前記 2 つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分の光信号を減衰する光減衰手段と、

前記 2 つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分である第 1 の光信号と前記遅延補償手段から出力された前記 2 つの直交偏波成分からなる第 2 の光信号との各一部  
の光信号を取り出す光取出手段と、

前記光取出手段によって取り出された前記第 1 の光信号および前記第 2 の光信号に対し、1 つの前記第 1 の光信号と 2 つの前記第 2 の光信号として時分割に切り換えて出力する光スイッチと、

前記第 1 の光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第 1 の制御手段と、

一方の前記第 2 の光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第 2 の制御手段と、

他方の前記第 2 の光信号をもとに前記光減衰手段の減衰量を制御する第 3 の制御手段と、

前記光スイッチから出力された 1 つの前記第 1 の光信号および 2 つの前記第 2 の光信号を検出し、検出結果をそれぞれ対応する前記第 1 ～第 3 の制御手段に出力する光信号検出手段と、

前記光スイッチおよび前記光信号検出手段を時分割切換制御する切換制御手段と、

を備えたことを特徴とする偏波モード分散補償装置。

【請求項 5】 前記遅延補償手段は、可変複屈折率媒体であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一つに記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 6】 前記第 1 ～第 3 の光信号検出手段または前記光信号検出手段は、

入力された光信号を電気信号に変換する変換手段と、  
前記変換手段によって変換された電気信号の信号レベルを検出する第 1 の信号レベル検出手段と、

前記変換手段によって変換された電気信号からクロック信号を抽出するクロック信号抽出手段と、

前記クロック信号抽出手段が抽出した信号レベルを検出する第 2 の信号レベル検出手段と、

を備えたことを特徴とする請求項 1 ～ 5 のいずれか一つに記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項 7】 前記第 1 ～第 3 の光信号検出手段または前記光信号検出手段は、

入力された光信号の偏光度を測定することを特徴とする請求項1～6のいずれか一つに記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項8】 前記第1～第3の制御手段は、ディザ信号を用いて同期検波することを特徴とする請求項1～7のいずれか一つに記載の偏波モード分散補償装置。

【請求項9】 前記ディザ信号は、500kHz以下の異なる信号であることを特徴とする請求項8に記載の偏波モード分散補償装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、光通信システムに関し、特に偏波依存伝送特性を有する光伝送路上における高速光信号伝送特性を改善することができる偏波モード分散補償装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】単一モード光ファイバでは、一對の直交偏波状態が存在する。この直交偏波状態をPSP (Principle States of Polarization) と呼ぶ。一般に、任意の偏波状態 (SOP: States Of Polarization) は、この2つの直交偏波状態の組み合わせによって記述することができる。光ファイバなどの伝送路や光部品は、コアや光部品の非対称性に起因する伝搬遅延時間の偏波依存性 (偏波モード分散: PMD: Polarization Mode Dispersion) を有する。このため、PMDを被った光信号は、異なった時間遅延を受けた直交偏波信号の和となる。PMDは、波形歪みの原因となるため、特に、超高速光伝送システムにおいて主たる信号劣化要因となることが知られている。

【0003】高次のPMDと他の劣化要因との相互作用を無視できる場合には、個々の直交偏波信号は、波形歪みを受けていないため、2つの直交偏波信号に適切な遅延を与えた後に合波することによって、PMD起因の波形劣化を回復することができる。

【0004】図9は、PMDによる波形劣化とPMD補償の概念を説明する図である。図9において、光送信器を出力した光信号は、図9(a)に示すようにp-偏波信号とs-偏波信号とが時間的に重なっている。ここで、PMDを有する伝送路を光信号が伝搬すると、図9(b)に示すようにp-偏波信号とs-偏波信号とは、時間 $\tau$ 分ずれて加算された波形となる。この加算された波形、すなわち波形劣化を生じている波形を元の波形に補償するためには、図9(c)に示すように、p-偏波信号とs-偏波信号との間に時間「 $-\tau$ 」分の遅延時間差を与えればよい。しかし、光ファイバ伝送路を伝搬する光の偏波状態 (SOP) は、環境温度や応力によって変化し続けるため、PMDの補償は動的に行う必要がある。

【0005】ここで、上述した遅延時間差を与える従来

のPMD補償装置について説明する。図10は、従来の偏波モード分散 (PMD) 補償装置の概要構成を示すブロック図である。この図10に示した偏波モード分散補償装置は、たとえば、文献「Limitation of Optical First-Order PMD Compensation」, H.Bulow, WE1-2, OFC99 に記載されている。図10において、この偏波モード分散補償装置は、まず偏波制御器101が、入力された光信号の偏波状態を制御し、偏波分離器102によって2つの直交する偏波成分に分離される。2つの偏波成分のうちの一方の偏波成分は、可変光遅延器105によって上述した時間遅延差分の時間遅延を与えられた後に、2つの直交する偏波成分は、偏波合成器106によって合波される。これによって、図9に示した遅延時間差を与えることによるPMD補償がなされたことになる。

【0006】一方、図10に示した可変光遅延器105を用いずに、一定遅延時間差を与えることによってPMD補償を行うものがある。図11は、従来の他の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。この図11に示した偏波モード分散補償装置は、たとえば、文献「Automatic polarization-mode Dispersion compensation in 40Gbit/s transmission」, Hiroki Ooi, WE5-2, OFC99に記載されている。図11において、この偏波モード分散補償装置は、偏波制御器201が、入力された光信号の偏波状態を制御する。偏波保持ファイバ224は、大きなPMDをもつ複屈折率媒体として作用する。したがって、図10に示した可変光遅延器105が与える一定の遅延時間差を固定したものと本質的に同じ機能を有する。

【0007】偏波保持ファイバ224が有するPMD量を $T$  [ps] とすると、偏波制御器201の設定によって、 $T$  [ps] および $-T$  [ps] のいずれかの遅延量を発生できる。このため、 $-2T \sim 2T$  [ps] のPMDを $-T \sim T$  [ps] にまで補償することができることになる。図11では、さらに、偏波保持ファイバ224から出力された光信号の一部を取り出し、光信号モニタ207によって検出し、偏波制御器制御回路208が、この検出した光信号のクロック信号成分が最大となるように、偏波制御器201を制御することによってPMD補償するようにしている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図10に示した従来の偏波モード分散補償装置では、偏波制御器101および可変光遅延器105の双方を制御するようにしているため、いずれか一方が最適値からずれると、PMD補償できなくなるとともに、出力される光信号の波形をもとに偏波制御器101および可変光遅延器105の双方の制御方向を推測することができず、良好なPMD補償を行うことができないという問題点があった。

【0009】一方、図11に示した従来の偏波モード分散補償装置では、可変光遅延器105による遅延量を固定にしてしまう機能を有するため、PMDによる波形劣化を完全に抑制することができないという問題点があった。

【0010】この発明は上記に鑑みてなされたもので、偏波モード分散による信号品質の劣化を高精度かつ確実に行うことができる偏波モード分散補償装置を得ることを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明にかかる偏波モード分散補償装置は、入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を2つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された2つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された2つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、前記遅延補償手段に入力された2つの直交偏波成分のうちのいずれか一方の直交偏波成分の光信号を検出する第1の光信号検出手段と、前記遅延補償手段から出力された光信号を検出する第2の光信号検出手段と、前記第1の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第1の制御手段と、前記第2の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第2の制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0012】この発明によれば、独立した2つの第1の光信号検出手段と第2の光信号検出手段とによって検出された光信号をもとに、それぞれ第1および第2の制御手段を独立して制御するようにしている。

【0013】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を2つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された2つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された2つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、前記2つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分である第1の光信号と前記遅延補償手段から出力された前記2つの直交偏波成分からなる第2の光信号との各一部の光信号を取り出す光取出手段と、前記光取出手段によって取り出された前記第1の光信号および前記第2の光信号を時分割に切り換えて出力する光スイッチと、前記第1の光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第1の制御手段と、前記第2の光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第2の制御手段と、前記光スイッチから出力された前記第1の光信号および前記第2の光信号を検出し、検出結果をそれぞれ対応する前記第1の制御手段および

前記第2の制御手段に出力する光信号検出手段と、前記光スイッチおよび前記光信号検出手段を時分割切換制御する切換制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0014】この発明によれば、光スイッチによって時分割切換出力された光信号を検出する1つの光信号検出手段のみによって複数の第1および第2の制御手段を独立して制御することができる。

【0015】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記2つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分の光信号を減衰する光減衰手段と、前記遅延補償手段が出力した光信号を検出する第3の光信号検出手段と、前記第3の光信号検出手段が検出した光信号をもとに前記光減衰手段の減衰量を制御する第3の制御手段と、をさらに備えたことを特徴とする。

【0016】この発明によれば、第3の光信号検出手段が光信号を検出し、第3の制御手段が第3の光信号検出手段の検出結果をもとに、光減衰手段の減衰量を制御するようにしている。

【0017】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、入力された光信号の偏波面制御を行う偏波制御手段と、前記偏波制御手段による偏波面制御をもとに前記光信号を2つの直交偏波成分に分離する偏波分離手段と、前記偏波分離手段によって分離された2つの直交偏波成分を入力し、一方の直交偏波成分を遅延させて各直交偏波成分間の遅延時間差を補償し、この補償された2つの直交偏波成分を出力する遅延補償手段と、前記2つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分の光信号を減衰する光減衰手段と、前記2つの直交偏波成分のうちの一方の直交偏波成分である第1の光信号と前記遅延補償手段から出力された前記2つの直交偏波成分からなる第2の光信号との各一部の光信号を取り出す光取出手段と、前記光取出手段によって取り出された前記第1の光信号および前記第2の光信号に対し、1つの前記第1の光信号と2つの前記第2の光信号として時分割に切り換えて出力する光スイッチと、前記第1の光信号をもとに前記偏波制御手段を制御する第1の制御手段と、一方の前記第2の光信号をもとに前記遅延補償手段を制御する第2の制御手段と、他方の前記第2の光信号をもとに前記光減衰手段の減衰量を制御する第3の制御手段と、前記光スイッチから出力された1つの前記第1の光信号および2つの前記第2の光信号を検出し、検出結果をそれぞれ対応する前記第1～第3の制御手段に出力する光信号検出手段と、前記光スイッチおよび前記光信号検出手段を時分割切換制御する切換制御手段と、を備えたことを特徴とする。

【0018】この発明によれば、光スイッチによって時分割切換出力された光信号を検出する1つの光信号検出手段のみによって複数の第1～第3の制御手段を独立して制御することができる。

【0019】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記遅延補償手段は、可変複屈折率媒体であることを特徴とする。

【0020】この発明によれば、可変複屈折率媒体を用いて遅延制御を行い、機械的振動に強く、かつ小型軽量化を促進させる装置を実現できる。

【0021】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記第1～第3の光信号検出手段または前記光信号検出手段は、入力された光信号を電気信号に変換する変換手段と、前記変換手段によって変換された電気信号の信号レベルを検出する第1の信号レベル検出手段と、前記変換手段によって変換された電気信号からクロック信号を抽出するクロック信号抽出手段と、前記クロック信号抽出手段が抽出した信号レベルを検出する第2の信号レベル検出手段と、を備えたことを特徴とする。

【0022】この発明によれば、第1～第3の光信号検出手段または光信号検出手段内において、変換手段が、入力された光信号を電気信号に変換し、第1の信号レベル変換手段が、前記変換手段によって変換された電気信号の信号レベルを検出し、クロック信号抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号からクロック信号を抽出し、第2の信号レベル検出手段が、前記クロック信号抽出手段が抽出した信号レベルを検出するようにし、クロック抽出効率をモニタするようにしている。

【0023】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記第1～第3の光信号検出手段または前記光信号検出手段は、入力された光信号の偏光度を測定することを特徴とする。

【0024】この発明によれば、前記第1～第3の光信号検出手段または前記光信号検出手段が、入力された光信号の偏光度を測定するようにしている。

【0025】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記第1～第3の制御手段は、ディザ信号を用いて同期検波することを特徴とする。

【0026】この発明によれば、前記第1～第3の制御手段は、ディザ信号を用いて同期検波するようにしている。

【0027】つぎの発明にかかる偏波モード分散補償装置は、上記の発明において、前記ディザ信号は、500kHz以下の異なる信号であることを特徴とする。

【0028】この発明によれば、第1～第3の制御手段内の前記ディザ信号を、500kHz以下の異なる信号としている。

【0029】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、この発明にかかる偏波モード分散補償装置の好適な実施の形態を詳細に説明する。

【0030】実施の形態1. 図1は、この発明の実施の

形態1である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図1において、伝送路によってPMDを被った光信号は、偏波制御器1に入力される。偏波制御器1は、入力された光信号の偏波状態を制御する。偏波状態が制御された光信号は、偏波分離器2によって、独立した直交偏波状態をもつ2つの偏波成分に分離される。2つの偏波状態のうちの一方の偏波状態をもつ光信号は、第1光路3に出力され、他方の偏波状態をもつ光信号は、第2光路4に出力される。

【0031】第1光路3に入力された光信号は、ビームスプリッタを介し、光信号モニタ7aによって一部の光信号がモニタされる。偏波制御器制御回路8は、光信号モニタ7aから出力された信号をもとに偏波制御器1を制御する。

【0032】一方、第2光路4に入力された光信号は、可変光遅延器5に入力され、可変光遅延器5は、可変光遅延器制御回路9の制御のもとに光信号に遅延量を与え、偏波合成器6に出力する。

【0033】偏波合成器6は、第1光路3および第2光路4から入力される光信号を偏波合成して出力する。偏波合成器6によって偏波合成された光信号の一部は、ビームスプリッタを介し、光信号モニタ7bによってモニタされる。そして、上述したように、可変光遅延器制御回路9は、光信号モニタ7bから出力された信号をもとに、可変光遅延器5による遅延量を制御する。

【0034】ここで、偏波制御器1および可変光遅延器5は、それぞれ独立した光信号モニタ7a、7bによるモニタ結果によって制御されることになる。このため、PMDによる波形劣化が生じている場合であっても、独立した直交偏波状態(PSP)各々の波形は歪みを受けていないという事実によって保証されることになる。

【0035】偏波制御器1は、偏波分離器2によって直交偏波状態に分離されるように、偏波状態を制御すればよい。ここで、光信号モニタ7aは、第1光路3に所定の偏波状態の光信号が入力されるように、あるいは第1光路3に入力される光信号の歪みが最小となるように偏波制御器1を制御すべき信号を偏波制御器制御回路8に出力する。

【0036】一方、可変光遅延器5は、この偏波モード分散補償装置に入力された光信号が被ったPMDと逆符号の遅延を発生させる必要がある。この可変光遅延器5による最適な遅延が与えられ、遅延補償された光信号は、歪みが最小となるため、光信号モニタ7bは、偏波合成器6から出力された光信号の歪みを検出し、その歪みを示す信号を可変光遅延器制御回路9に出力し、可変光遅延器制御回路9がこの信号をもとに光信号の歪みが最小となるように制御することによって最適な遅延が与えられ、PMDが減少する。

【0037】なお、偏波制御器1は、半波長板と $\lambda/4$ 波長板とを組み合わせた偏波制御器によって実現され

る。また、偏波制御器 1 は、誘電体や半導体を用いた偏波制御器によって実現することができる。偏波分離器 2 および偏波合成器 6 は、偏波ビームスプリッタと呼ばれるデバイスを用いることによって実現することができる。偏波ビームスプリッタとしては、ファイバ溶融型のものや、バルク結晶を用いたものによって実現することができる。可変光遅延器 5 は、可動部によって物理的な光路長を変化させる装置であってもよく、温度や応力などによって光路長を変化させる装置を用いるようにしてもよい。

【0038】ここで、図 2 および図 3 を参照して光信号モニタ 7 a, 7 b の詳細構成について説明する。図 2 は、光信号モニタ 7 a, 7 b の詳細構成の一例を示すブロック図である。図 2 において、光信号モニタ 7 a, 7 b は、クロック抽出効率を測定する回路によって実現される。まず、入力された光信号は、フォトダイオード 13 によって電気信号に変換される。可変利得増幅器 14 は、入力された電気信号をレベル検出器 15 a の制御のもとに可変増幅する。レベル検出器 15 a は、可変利得増幅器 14 からの信号レベルが一定となるように、可変利得増幅器 14 の利得を制御する。クロック抽出器 16 は、入力信号のクロックを抽出し、レベル検出器 15 b に出力する。レベル検出器 15 b に入力される信号は、レベル検出器 15 a の制御によって所定レベルの入力信号となっているため、所定レベルの入力信号に対するクロック抽出レベルを検出することになる。なお、レベル検出器 15 a, 15 b は、ダイオードタイプのピーク検波器やパワーメータなどによって実現することができる。また、クロック抽出器 16 は、光信号モニタ 7 a, 7 b に入力される光信号が NRZ 信号である場合には、

ダブラやミキサを用いた非線形クロック抽出回路によって実現することができ、入力される光信号が RZ 信号である場合には、狭帯域のフィルタなどの線形クロック抽出回路によって実現することができる。

【0039】また、図 3 は、光信号モニタ 7 a, 7 b の詳細構成の他の一例を示すブロック図である。図 3 において、光信号モニタ 7 a, 7 b は、図 2 に示した光信号モニタ 7 a, 7 b と同様に、クロック抽出効率を測定する回路によって実現される。まず、入力された光信号は、フォトダイオード 13 によって電気信号に変換される。可変利得増幅器 14 は、入力された電気信号を可変増幅する。レベル検出器 15 a は、可変利得増幅器 14 の出力信号の信号レベルを検出し、除算器 17 に出力する。クロック抽出器 16 は、可変利得増幅器 14 の出力信号のクロックを抽出し、レベル検出器 15 b に出力する。レベル検出器 15 b は、クロック抽出器 16 から出力された信号レベルを検出する。除算器 17 は、レベル検出器 15 b からの出力 B を、レベル検出器 15 a からの出力 A によって除算し、除算結果を出力する。ここで、除算器 17 の出力は、単位信号当たりのクロック抽

出レベルに比例するため、図 3 に示した光信号モニタ 7 a, 7 b は、図 2 に示した光信号モニタ 7 a, 7 b と同様にクロック抽出効率を測定する回路である。

【0040】なお、光信号モニタ 7 a, 7 b は、図 2 または図 3 に示した構成に限らず、偏光度モニタを用いて実現するようにしてもよい。偏波モード分散補償装置が理想的に機能しているとき、出力される偏光度が最大となるため、偏光度が最大となるようにフィードバックすることによって所望の制御を実現することができる。

【0041】この実施の形態 1 によれば、光信号モニタ 7 a, 7 b が独立して光信号を検出し、この検出結果をもとに偏波制御器制御回路 8 および可変光遅延器制御回路 9 がそれぞれ偏波制御器 1 および可変光遅延器 5 を独立して制御しているので、高精度かつ確実な PMD 補償を行うことができる。

【0042】実施の形態 2. つぎに、この発明の実施の形態 2 について説明する。この実施の形態 2 では、実施の形態 1 における可変光遅延器制御回路 9 の構成を同期検波方式を用いて実現している。その他の構成は、実施の形態 1 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0043】図 4 は、この発明の実施の形態 2 である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図 4 において、発振器 23 は、たとえば 2 KHz の正弦波ディザ信号を出力する。ミキサ 18 は、発振器 23 から出力された正弦波ディザ信号と、光信号モニタ 7 b から入力された信号とをミキシングし、同期検波する。ミキシングされた信号は、増幅器 19 によって増幅された後、低域濾過フィルタ 20 に入力され、低域濾過フィルタ 20 から出力される誤差信号は、ミキサ 18 に入力される正弦波ディザ信号と光信号モニタ 7 b から入力される信号とが正相か逆相かによって異なる符号をもつことになる。加算器 21 は、低域濾過フィルタ 20 から出力された誤差信号と発振器 23 から出力される正弦波ディザ信号とを加算し、加算結果は、駆動アンプ 22 によって可変光遅延器 5 に出力される。可変光遅延器 5 によって遅延量が与えられた光信号は、光信号モニタ 7 b によって再びモニタされ、モニタされた信号は、可変光遅延器制御回路 9 に出力される。

【0044】このような制御ループとすることによって、光信号モニタ 7 b から出力される信号が最大となり、可変光遅延器 5 の設定遅延量が安定化される。ここで、可変光遅延器制御回路 9 は、同期検波方式を採用しているため、高感度で高精度な自動制御を実現することができる。なお、この制御ループの応答時定数は、低域濾過フィルタ 20 のカットオフ周波数によって決定される。典型的には、低域濾過フィルタ 20 のカットオフ周波数は、100 Hz 程度である。

【0045】なお、上述した可変光遅延器制御回路 9 の構成は、偏波制御器制御回路 8 にも適用することができ



る。ここで、可変光遅延器制御回路 9 の応答時定数と偏波制御器制御回路 8 の応答時定数とを近づけることは好ましくないため、たとえば、可変光遅延器制御回路 9 の応答時定数を 100 Hz とし、偏波制御器制御回路 8 の応答時定数を 1 kHz に設定するとよい。この場合、可変光遅延器制御回路 9 で用いる正弦波ディザ信号の周波数を 2 kHz とし、偏波制御器制御回路 8 で用いる正弦波ディザ信号の周波数を 20 kHz とするとよい。ディザ信号の周波数は、制御されるデバイスの応答速度に比して遅く、また制御ループの時定数に比して十分速くすることが必要であるため、一般に 500 kHz 以下の周波数を用いることができる。

【0046】この実施の形態 2 では、同期検波方式によって PMD の遅延補償に必要な制御信号を得ようとしているので、高精度かつ高速に、遅延補償による PMD 補償を行うことができる。

【0047】実施の形態 3. つぎに、この発明の実施の形態 3 について説明する。上述した実施の形態 1 では、光信号モニタ 7 a が、偏波分離器 2 によって分離された第 1 光路 3 上の光信号をモニタするようにしていたが、この実施の形態 3 では、光信号モニタ 7 a が、第 2 光路 4 上の光信号をモニタするようにしている。

【0048】図 5 は、この発明の実施の形態 3 である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図 5 において、光信号モニタ 3 7 a は、第 2 光路 4 上の光信号をモニタし、モニタ結果を偏波制御器制御回路 8 に出力するようにしている。

【0049】これは、偏波分離器 2 の特性によって、第 1 光路 3 上を伝送する光信号と第 2 光路 4 上を伝送する光信号とのいずれかに所望の偏波状態の光信号が入力された場合、他方の第 1 光路 3 または第 2 光路 4 にも所望の偏波状態の光信号が入力されるからである。すなわち、光信号モニタ 3 7 a がモニタする光信号は、第 1 光路 3 上であっても、第 2 光路 4 上であっても、等価である。

【0050】なお、図 5 において、光信号モニタ 3 7 a は、可変光遅延器 5 の入力側の光信号をモニタするようにしているが、可変光遅延器 5 の出力側の光信号をモニタするようにしてもよい。

【0051】実施の形態 4. つぎに、この発明の実施の形態 4 について説明する。上述した実施の形態 1～3 では、2 つの光信号モニタ 7 a, 7 b を用いて偏波制御器 1 および可変光遅延器 5 の制御を行うようにしていたが、この実施の形態 4 では、1 つの光信号モニタ 7 を用い、時分割多重処理によって偏波制御器 1 および可変光遅延器 5 の制御を行うようにしている。

【0052】図 6 は、この発明の実施の形態 4 である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図 6 において、この偏波モード分散補償装置は、2 入力 1 出力の光スイッチ 4 2 を新たに設け、光信号モニタ 7

a, 7 b に対応する 1 つの光信号モニタ 7 とするとともに、光スイッチ 4 2 および光信号モニタ 7 の切換制御を行う切換制御部 4 3 を設けている。その他の構成は、実施の形態 3 と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0053】光スイッチ 4 2 の 2 入力には、第 2 光路 4 上の光信号と、偏波合成器 6 による偏波合成後の光信号とが入力され、切換制御部 4 3 の切換指示によって選択された 1 つの光信号が光信号モニタ 7 に出力される。光信号モニタ 7 は、切換制御部 4 3 の切換指示によって、第 2 光路 4 上の光信号が選択された場合には、光信号を偏波制御器制御回路 8 に出力し、偏波合成器 6 による偏波合成後の光信号が選択された場合には、この光信号を可変光遅延器制御回路 9 に出力する。切換制御部 4 3 は、光スイッチ 4 2 および光信号モニタ 7 に対して時分割多重切換の指示を行う。

【0054】一般に、光信号モニタ 7 a, 7 b, 7 は、超高速光信号を取り扱う場合には、コスト高となるため、1 つの光信号モニタ 7 とすることによって、簡易かつ安価な偏波モード分散補償装置を実現することができる。

【0055】実施の形態 5. つぎに、この発明の実施の形態 5 について説明する。この実施の形態 5 では、遅延補償や偏波面制御による PMD 補償のみならず、独立した直交偏波成分が伝送路で被った損失の差、すなわち偏波依存損失 PDL (Polarization Depending Loss) をも補償できるようにしている。

【0056】図 7 は、この発明の実施の形態 5 である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図 7 において、この偏波モード分散補償装置は、第 1 光路 3 上に設けた可変光減衰器 5 0、偏波合成器 6 の偏波合成した光信号をモニタする光信号モニタ 7 c、および光信号モニタ 7 c のモニタ結果をもとに可変光減衰器 5 0 を制御する可変光減衰器制御回路 5 1 を新たに設けた構成としている。その他の構成は、実施の形態 1 の構成と同じであり、同一構成部分には同一符号を付している。

【0057】光信号モニタ 7 c は、偏波合成器 6 によって偏波合成された光信号の一部をビームスプリッタを介してモニタし、モニタ結果の信号を可変光減衰器制御回路 5 1 に出力する。可変光減衰器制御回路 5 1 は、モニタ結果をもとに可変光減衰器 5 0 の減衰量を制御する。光信号モニタ 7 c の構成は、光信号モニタ 7 a, 7 b を同じである。

【0058】なお、可変光減衰器制御回路 5 1 の構成は、実施の形態 2 における可変光遅延器制御回路 9 と同様に、クロック抽出効率を検出する回路構成としてもよいし、偏光度を計測する回路構成としてもよい。また、可変光減衰器 5 0 は、第 2 光路 4 上に設けるようにしてもよい。なお、可変光減衰器制御回路 5 1 の応答時定数

は、可変光遅延器制御回路 9 の応答時定数および偏波制御器制御回路 8 の応答時定数と異なる値に設定する必要がある。

【0059】また、実施の形態 4 をこの実施の形態 5 に適用し、光スイッチを用いて、光モニタ 7 a ~ 7 c がモニタする光信号を出力するようにしてもよい。これによって、簡易な構成の偏波モード分散補償装置を実現することができる。

【0060】この実施の形態 5 によれば、遅延補償や偏波面制御による PMD 補償のみならず、独立した直交偏波成分が伝送路で被った損失の差、すなわち偏波依存損失 PDL をも補償することができる。

【0061】実施の形態 6. つぎに、この発明の実施の形態 6 について説明する。上述した実施の形態 1 ~ 5 では、いずれもミラー系を用いて遅延時間差を補償するようにしていたが、この実施の形態 6 では、可変複屈折率媒体を用いて遅延時間差を補償するようにしている。

【0062】図 8 は、この発明の実施の形態 6 である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。図 8 において、この偏波モード分散補償装置は、図 1 に示した偏波分離器 2、可変光遅延器 5、および偏波合成器 6 に代えて可変複屈折率媒体 60 を設け、この可変複屈折率媒体 60 によって遅延時間差の補償を行うようにしている。

【0063】図 8 において、伝送路によって PMD を被った光信号は、偏波制御器 1 に入力される。偏波制御器 1 は、入力された光信号の偏波状態、すなわち偏波面を制御する。偏波制御器 1 によって制御された偏波面をもつ光信号は、3 端子の光サーキュレータ 71 の端子 71 a に入力される。端子 71 a に入力された光信号は、端子 71 b から可変複屈折率媒体 60 の入出力端 64 に入力され、可変複屈折率媒体 60 内を往復することによって各偏波面の光信号間の遅延時間差が補償され、遅延時間差が補償された光信号は、入出力端 64 から再び光サーキュレータ 71 の端子 71 b に入力され、端子 71 c から出力される。

【0064】可変複屈折率媒体 60 は、光導波路 61 内にグレーティング 62 が設けられ、光導波路 61 内に入力された光信号の各偏波面の偏光に対して、異なる群遅延時間を与え、これによって、各偏光間の遅延時間差を補償する。ここで、グレーティング 62 によって反射される波長（ブラッグ波長） $\lambda_b$  は、グレーティング 62 の等価複屈折率  $n_{eff}$  とグレーティングピッチ  $\Lambda$  とを用いて次式で表すことができる。すなわち、 $\lambda_b = 2 n_{eff} \cdot \Lambda$  である。この場合、グレーティングピッチ  $\Lambda$  および等価複屈折率  $n_{eff}$  は一定であるので、加熱部 63 a、63 b を設け、この加熱部 63 a、63 b の加熱量を制御して光導波路 61 に温度勾配を与え、各偏光の遅延時間差を調整する。この遅延時間差の調整は、温度制御部 63 によって制御される。

【0065】ここで、光信号モニタ 7 b は、ビームスプリッタ 72 を介して光サーキュレータ 71 の端子 71 c から出力された光信号の一部を取り出し、可変複屈折率媒体制御回路 75 に出力する。可変複屈折率媒体制御回路 75 は、温度制御部 63 を制御することによって可変複屈折率媒体 60 の遅延時間差を制御する。

【0066】一方、可変複屈折率媒体 60 の入出力端 64 から出力された光信号は、ビームスプリッタ 73 によって一部が取り出され、偏波分離器 74 に出力される。偏波分離器 74 は、取り出された一部の光信号のうちの一方の偏波面をもつ偏光を分離し、光信号モニタ 7 a に出力する。光信号モニタ 7 a は、分離された偏光の偏波状態が所定の偏光となるように、あるいはこの偏光の歪みが最小となるように偏波制御器 1 を制御すべき信号を偏波制御器制御回路 8 に出力する。

【0067】これによって、上述した実施の形態 1 ~ 5 と同様に、偏波制御器 1 に対する制御と可変複屈折率媒体 60 による遅延時間差補償の制御とが、それぞれ独立した光信号モニタ 7 a、7 b によるモニタ結果によって制御されることになる。

【0068】なお、上述した実施の形態 6 では、温度制御部 63 によって光導波路 61 に温度勾配を持たせ、これによって遅延時間差を調整するようにしていたが、これに限らず、電界勾配、応力勾配などを与えて遅延時間差を調整するようにしてもよい。

【0069】また、上述した実施の形態 6 では、ビームスプリッタ 73 によって可変複屈折率媒体 60 から出力された光信号の一部を取り出し、偏波分離器 74 によって所望の偏波面をもつ偏光を取り出すようにしていたが、可変複屈折率媒体 60 に入力される光信号の一部を取り出し、この取り出した光信号における所望の偏波面の偏光を取り出すようにしてもよい。

【0070】この実施の形態 6 によれば、実施の形態 1 ~ 5 における偏波分離器 2、可変光遅延器 5、および偏波合成器 6 によって形成されるミラー系による遅延時間差の補償を可変複屈折率媒体 60 によって行うことができる。また、可変複屈折率媒体 60 を用いることによって、ミラー系に比して高い機械的強度を得ることができる、しかも小型軽量化を促進させることができる。

【0071】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、独立した 2 つの第 1 の光信号検出手段と第 2 の光信号検出手段とによって検出された光信号をもとに、それぞれ第 1 および第 2 の制御手段を独立して制御するようにしているので、高精度かつ確実な PMD 補償を行うことができるという効果を奏する。

【0072】つぎの発明によれば、光スイッチによって時分割切換出力された光信号を検出する 1 つの光信号検出手段のみによって複数の第 1 および第 2 の制御手段を独立して制御することができるので、簡易な構成によ

て高精度かつ確実なPMD補償を行うことができるという効果を奏する。

【0073】 つぎの発明によれば、第3の光信号検出手段が光信号を検出し、第3の制御手段が第3の光信号検出手段の検出結果をもとに、光減衰手段の減衰量を制御するようにしているので、遅延補償や偏波面制御によるPMD補償のみならず、独立した直交偏波成分が伝送路で被った損失の差、すなわち偏波依存損失PLDをも補償することができるという効果を奏する。

【0074】 つぎの発明によれば、光スイッチによって時分割切換出力された光信号を検出する1つの光信号検出手段のみによって複数の第1～第3の制御手段を独立して制御することができるので、簡易な構成によって高精度かつ確実なPMD補償を行うことができるという効果を奏する。

【0075】 つぎの発明によれば、可変複屈折率媒体を用いて遅延制御を行っているので、機械的振動に強く、かつ小型軽量化を促進させる装置を実現できるという効果を奏する。

【0076】 つぎの発明によれば、第1～第3の光信号検出手段または光信号検出手段内において、変換手段が、入力された光信号を電気信号に変換し、第1の信号レベル変換手段が、前記変換手段によって変換された電気信号の信号レベルを検出し、クロック信号抽出手段が、前記変換手段によって変換された電気信号からクロック信号を抽出し、第2の信号レベル検出手段が、前記クロック信号抽出手段が抽出した信号レベルを検出するようにし、クロック抽出効率をモニタするようにしているので、遅延補償などのPMD補償に必要な制御信号を確実に得ることができるという効果を奏する。

【0077】 つぎの発明によれば、前記第1～第3の光信号検出手段または前記光信号検出手段が、入力された光信号の偏光度を測定するようにしているので、遅延補償などのPMD補償に必要な制御信号を確実に得ることができるという効果を奏する。

【0078】 つぎの発明によれば、前記第1～第3の制御手段は、ディザ信号を用いて同期検波するようにしているので、同期検波によって高精度かつ高速に、遅延補償などのPMD補償を行うことができるという効果を奏する。

【0079】 つぎの発明によれば、第1～第3の制御手段内の前記ディザ信号を、500kHz以下の異なる信号としているので、高精度かつ高速に、遅延補償などのPMD補償を行うことができるという効果を奏する。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図2】 図1に示した光信号モニタ7a、7bの詳細構成の一例を示すブロック図である。

【図3】 図1に示した光信号モニタ7a、7bの詳細構成の他の一例を示すブロック図である。

【図4】 この発明の実施の形態2である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図5】 この発明の実施の形態3である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図6】 この発明の実施の形態4である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図7】 この発明の実施の形態5である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図8】 この発明の実施の形態6である偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図9】 偏波モード分散の補償の概念を説明する図である。

【図10】 従来の偏波モード分散補償装置の構成を示すブロック図である。

【図11】 従来の偏波モード分散補償装置の他の構成を示すブロック図である。

#### 【符号の説明】

1 偏波制御器、2、74 偏波分離器、3 第1光路、4 第2光路、5 可変光遅延器、6 偏波合成器、7、7a、7b、7c、37a 光信号モニタ、8 偏波制御器制御回路、9 可変光遅延器制御回路、13 フォトダイオード、14 可変利得増幅器、15a、15b レベル検出器、16 クロック抽出器、17 除算器、18 乗算器、19 増幅器、20 低域濾過フィルタ、21 加算器、22 駆動アンプ、23 発振器、42 光スイッチ、43 切換制御部、50 可変光減衰器、51 可変光減衰器制御回路、60 可変複屈折率媒体、63 温度制御部、71 光サーキュレータ、75 可変複屈折率媒体制御回路。

[illegible]

7a, 7b

13

14

15a

レベル検出器

16

クロック抽出器

15b

レベル検出器

A

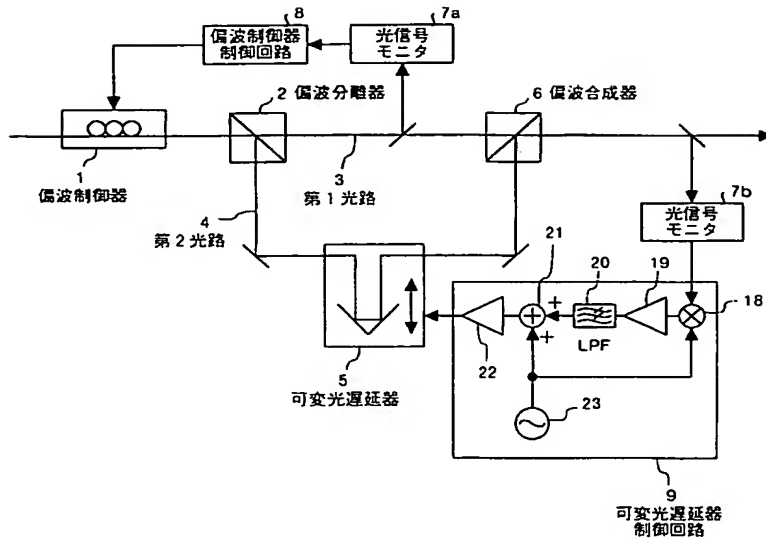
B

17

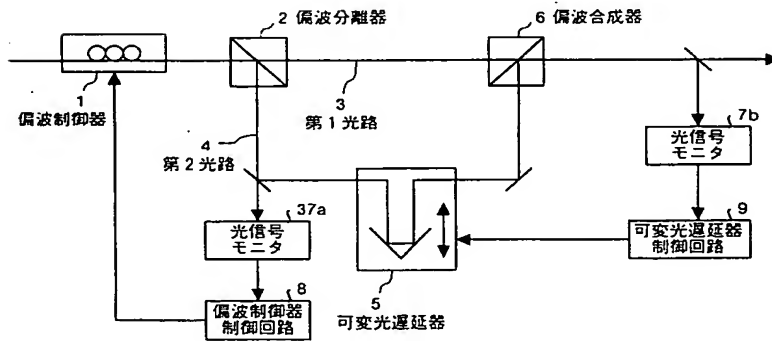
除算器

B/A

【図 4】



【図 5】



【図 7】

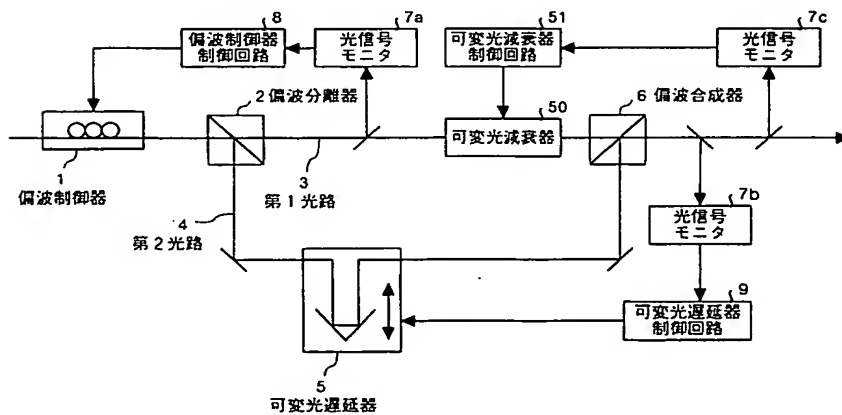


Figure 1 is a block diagram of a polarization control system. The system includes a main light path and a feedback control loop. The main path starts with an input light beam entering from the left, passing through a beam splitter 72. The light then travels through a polarization controller 1 (depicted as a box with three circles), a polarization control circuit 8, a photodetector 7a, a polarizing beam splitter 74, and a circulator 71. The circulator 71 has three ports: 71a (input), 71b (output to the main path), and 71c (output to a feedback path). The feedback path branches off from port 71c, passing through a beam splitter 73, a temperature control unit 63 (which includes a heater 63a and a cooler 63b), and a variable refractive index medium 60. The variable refractive index medium 60 is part of a feedback loop that also includes a photodetector 61, a control circuit 62, and a variable refractive index medium control circuit 75. The control circuit 75 receives signals from the photodetector 61 and the photodetector 7b (which is part of the main path after beam splitter 72). The control circuit 75 sends control signals to the temperature control unit 63, which in turn adjusts the variable refractive index medium 60. The output of the main path is reflected by beam splitter 72.

【図10】

